Bad Suborbifoldsについて (Hyperbolic Geometry and 3-Manifolds)

加藤, 十吉

数理解析研究所講究録
568巻 1985年 128-136

Bad Suborbifolds について.

九大・理　加藤十吉 (Mitsuyoshi Kato)

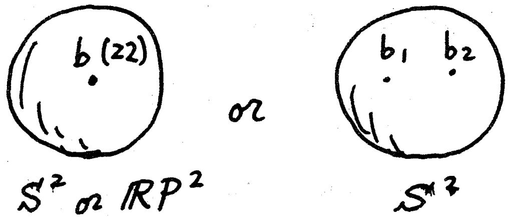
§1. 定義　orbifold O_X の suborbifold O_Y とは、$Y \subset X$ であり、Y の各点 y で、O_X の点 y での local chart $(G_y, \mathbb{R}^n)$ において、$\mathbb{R}^n$ の線形部分空間 L 及び L を不変にする G_y の元の全体のなす部分群 G'_y に対し、L/G'_y が y の Y での近傍となり、L を固定する G'_y の元全体のなす正規部分群で G'_y を割った群を $\hat{G}_y$ とするとき、$(\hat{G}_y, L)$ が O_Y の点 y での local chart となるときをいう。

とくに、$\dim Y = 2$ のとき、O_Y 又は Y のことを O_X の surface という。以下、ΣX は cod. 2 以上とする。

予想 (Thurston [Th])　Bad n-orbifold $(n \geq 3)$ は Bad surface を含む.

本質的には Thurston によるこの予想が $n \geq 4$ で一般には成立しないことを §2 で示す。

この予想は，組合せ群論的に非常に困難な bad であることの判定条件を直観的に明快な bad surface

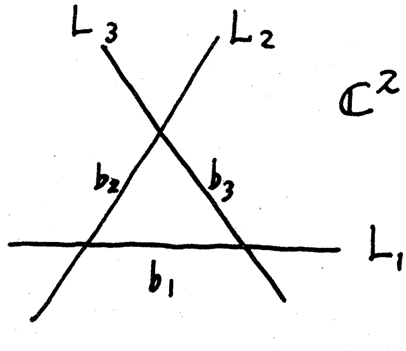


$(b_1 > b_2 \geq 2)$

の存在に帰着させようとするもので非常に好都合である。

§3では，$\mathbb{C}P^2$ の weighted line configuration からえられる complex algebraic orbisurface の abelian uniformization problem で，この種の予想の成立することを示す。

§2. 反例. ([Ka 1]). $\mathbb{C}^2$ の中で一般の位置にある3直線 L_1, L_2, L_3 を考える。

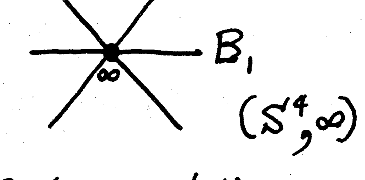


$\{i, j, k\} = \{1, 2, 3\}$ とし，

$p_i = L_j \cap L_k$,

$L_i^\circ = L_i - \{p_j, p_k\}$

とおく。$\mathbb{C}^2$ の1点コンパクト化として，$S^4 = \mathbb{C}^2 \cup \{\infty\}$ を考え，例えば，立体射影により，



$B_i = L_i \cup \{\infty\}$ $(i = 1, 2, 3)$

は ∞ で，互いに transversal に交わるとしてよい。

b_1, b_2, b_3 を2以上の自然数とする。$S^4-\bigcup_{i=1}^{3}B_i$ 上非分岐，$\mathring{L}_i$ 上で b_i 分岐する（p_i で $b_j\cdot b_k$ 分岐する）orbifold が ∞ 迄拡張できる為の必要十分条件は，

$$\frac{1}{b_1}+\frac{1}{b_2}+\frac{1}{b_3}>1 \qquad (*)$$

となる。こうして決まる orbifold を $(S^4, \sum_{i=1}^{3} b_iB_i)$ と表す。この orbifold は，Bad であり，しかも，Bad surface を含まぬことを示そう。

$E=S^4-\bigcup_{i=1}^{3}B_i$ の基本群は abel 群 $\mathbb{Z}+\mathbb{Z}+\mathbb{Z}$ で，各 B_i の normal loop μ_i で生成される。

与えられた orbifold が good であれば，その普遍分岐被覆は，自然な全射準同型 $\pi_1(E)=\mathbb{Z}+\mathbb{Z}+\mathbb{Z}\to\mathbb{Z}/b_1+\mathbb{Z}/b_2+\mathbb{Z}/b_3$ に associate された E の covering の S^4 上での Fox completion $W\to S^4$ となる。W が多様体となるということが $(S^4, \sum b_iB_i)$ が good ということであった。

ところで，∞ での orbifold の local chart の群の位数は，Schwarz 3角群 $T(b_1,b_2,b_3)$（条件(*)のもとで，これは正多面体群で，その位数を c とするとき，c^2 となる。

ちなみに，

$$c=\begin{cases} 2\cdot(2m+1), & \text{if } \{b_1,b_2,b_3\}=\{2,2,2m+1\} \\ 2\cdot\langle b_1,b_2,b_3\rangle, & \text{otherwise}, \end{cases}$$

但し，$\langle b_1,b_2,b_3\rangle$ は b_1,b_2,b_3 の最小公倍数である。

したがって、 $C^2 > b_1 \cdot b_2 \cdot b_3$ が成立する。

∞ で uniformize するのに、 C^2-fold cover が必要であるにもかゝわらず、 $b_1 b_2 b_3$ 重分岐被覆 しかとれないので、 $(S^4, \Sigma b_i B_i)$ は good でありえない。

次に、 bad surface が存在しないことを示す。

$(\mathbb{C}^2, \Sigma b_i L_i)$ は good であるから、もし、bad surface Y が存在したとすると、必らず ∞ を通る。

suborbifold の定義から、 Y は各 B_i と transversal に交わる。

Y の ∞ での local chart の群の位数は 上の C に等しいことがわかる。

ところで、 S^4 の中で 2つの smooth surfaces Y と B_i の mod 2 intersection number は 0 であるから、

$Y \cap B_i - \{\infty\} \neq \emptyset$ となる。 $Y \cap L_i^0 \ni q$ での Y の local chart の群の位数 は 明らかに b_i である。

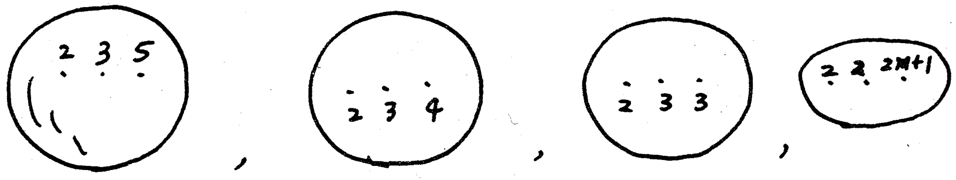
$Y \ni p_i$ であれば、 それは $\langle b_j, b_k \rangle$ となる。

いずれにせよ、 $Y \cap (\cup B_i)$ の各点は O_Y の分岐点となる。 明らかに、 $Y \cap (\cup B_i)$ は 3 点以上を含むから、 O_Y は bad であることに矛盾する。 よって、$(S^4, \Sigma b_i B_i)$ は bad surface を含みえない。

4.

§3. Good abelian orbifold の例.

orbifold O_X が good で，しかも，変換群がアーベル群であるような manifold branched cover をもつとき，good abelian orbifold という。 good でも good abelian でない例として，



等々がある。一般に，X が閉Riemann面（向きづけ可能な閉曲面）のとき，$\Sigma X = \{p_1, \cdots, p_r\}$，分岐 divisor を $\sum_{i=1}^{r} b_i p_i$ としたとき，O_X が abelian uniformizable（good abelian orbifold であること）の必要十分条件は，

O_X が good であり，$i=1,\cdots,r$ について，

$$b_i \mid \langle b_1, \cdots, b_{i-1}, b_{i+1}, \cdots, b_r \rangle$$

が成立することである。通常の基本群とホモロジー群の関係のように，$\pi_1(O_X)$ =（O_X の universal uniformization の群）の abel 化が universal な abelian uniformization の群に同型となることが一般に示せる.

さて，$L_1, \cdots, L_r$ を $\mathbb{CP}^2$ の複素直線とし，$b_1, \cdots, b_r$ を2以上の自然数とし，weighted line configuration

$(\mathbb{C}P^2, \sum b_i L_i)$ について考えよう。$\bigcup_{i=1}^{r} L_i$ の2重点以外の多重点のことを，こゝでは，特異多重点と呼ぶ。

$\{p_1, \cdots, p_s\}$ を特異多重点の全体とし，$\mathbb{C}P^2$ をそこで blowing up して得られる複素曲面を X とし，L_i の proper transform を L_i'，p_j に対応する例外曲線を E_j とする。

$(\cup L_i') \cup (\cup E_j)$ は non-singular rational curves からなり，特異点は transversal な2重点である；simply normal crossing である。各 p_k に2以上の自然数 c_k を指定し，divisor $\sum b_i L_i' + \sum c_k E_k$ によって，§2の様に自然に X 上の複素 orbisurface O_X が定まる。

<u>Theorem</u>. O_X が good abelian orbifold

$$\Longleftrightarrow \begin{cases} O_{L_i'}\ ,\ O_{E_j} \quad (i=1,\cdots,r;\ j=1,\cdots,s) \text{ が so である。} \\ \text{各 } p_j \text{ について，} c_j \mid \langle b_{i_1}, \cdots, b_{i_m} \rangle \quad (p_j = L_{i_1} \cap \cdots L_{i_m}) \text{。} \end{cases}$$

（証明）$\Rightarrow$ は容易であるから略し，$\Leftarrow$ を示そう。

$B_i = L_i'$ $(1 \le i \le r)$，$B_{r+j} = E_j$，$b_{r+j} = c_j$ $(1 \le j \le s)$

とおき，各 B_k に normal loop μ_k を1つとる。

$$H_1(X - \bigcup_{k=1}^{r+s} B_k) = H_1(\mathbb{C}P^2 - \bigcup_{i=1}^{r} L_i) = \mathbb{Z}(\mu_1) + \cdots + \mathbb{Z}(\mu_r) / \mu_1 + \cdots + \mu_r = 0,$$

$$\mu_{r+j} + \mu_{i_1} + \cdots + \mu_{i_m} = 0 \quad (p_j = L_{i_1} \cap \cdots \cap L_{i_m},\ j = 1, \cdots, s)$$

に注意する。[Ka 1] により，O_X が good abelian であ

ることを示すには，各2重点 $x \in B_i \cap B_j$ で，準同型

$$\mathbb{Z}(\mu_i)+\mathbb{Z}(\mu_j) \longrightarrow G = \mathbb{Z}(\mu_1)+\cdots+\mathbb{Z}(\mu_r) \Big/ {\mu_1+\cdots+\mu_r=0 \atop b_1\mu_1=\cdots=b_{r+s}\mu_{r+s}=0}$$

の kernel が $\mathbb{Z}(b_i\mu_i)+\mathbb{Z}(b_j\mu_j)$ となることを示せばよい。

B_k 上の2重点の全体を $\{x_1,\cdots,x_q\}$ とし，x_t の $\mathring{B}_k = B_k-\{x_1,\cdots,x_q\}$ での normal loop を ν_t とする。

$$H_1(\mathring{B}_k) = \mathbb{Z}(\nu_1)+\cdots+\mathbb{Z}(\nu_q) / \ \nu_1+\cdots+\nu_q=0$$

であり，O_{B_k} の分岐 divisor を $\sum_{t=1}^{q} d_t x_t$ とするとき，O_{B_k} の abelian universal branched covering の群は

$$G_k = \mathbb{Z}(\nu_1)+\cdots+\mathbb{Z}(\nu_q) \Big/ {\nu_1+\cdots+\nu_q=0 \atop d_1\nu_1=\cdots=d_q\nu_q=0}$$

で与えられる。したがって，$B_k=E_{k-r}$ のとき，

$$\mu_j \longmapsto \begin{cases} \nu_t & , \quad x_t = B_k \cap B_j \\ 0 & , \quad B_k\cap B_j=\emptyset \text{ or } B_j=B_k \end{cases}$$

で定る全射準同型 $H_1(X-\bigcup_{j=1}^{r+s} B_j) \rightarrow H_1(\mathring{B}_k)$ は自然な全射準同型 $G \rightarrow G_k$ を誘導し，$\underbrace{p_{k-r}=L_{i_1}\cap\cdots\cap L_{i_m}}_{O_{E_{k-r}}\text{ が abelian good から，}}$ のとき，$\mu_{i_1},\cdots,\mu_{i_m}$ が G_k の中で order $b_{i_1},\cdots,b_{i_m}$ をもつことがわかる。同様に，$B_k=L'_k$ で，L'_k 上に特異多重点のない場合に $\mu_1,\cdots,\check{\mu}_k,\cdots,\mu_r$ が order $b_1,\cdots,\check{b}_k,\cdots,b_r$ をもつことが示せる。いずれも，$\mu_k=1$ として，つまり，$G/\mu_k=1$ の中でその order をもつことに注意すると，$\bigcup_{i=1}^{r} L_i$ の2重点で，$\ker(\mathbb{Z}(\mu_i)+\mathbb{Z}(\mu_j)\rightarrow G) = \mathbb{Z}(b_i\mu_i)+\mathbb{Z}(\mu_j b_j)$ が成立する。また，すべての直

L_i について、μ_i ($1\le i\le r$) の order が G/μ_{r+j} ($p_j\in L_i$ の特異多重点) で b_i であることも示された。

したがって、特異多重点 $p_j=L_{i_1}\cap\cdots\cap L_{i_m}$ を含む L_k について、$B_k=L_k'$ とし、μ_{r+j} が $G/\mu_k=1$ の中で order b_{r+j} をもつことを示せばよい。

$G/\mu_k=1$ は、$\mu_1,\cdots,\check{\mu}_k,\cdots,\mu_r$ で生成され、各 μ_i の order は b_i だから、$b_{r+j}\mid\langle b_{i_1},\cdots,\check{b}_k,\cdots,b_{i_m}\rangle$ 及び $b_{r+j}\mid\langle\{b_1,\cdots,b_r\}-\{b_{i_1},\cdots,b_{i_m}\}\rangle$ を示せばよい。O_{E_j} が good abelian より、

$$\langle b_{i_1},\cdots,b_{i_m}\rangle=\langle b_{i_1},\cdots,\check{b}_{i_\ell},\cdots,b_{i_m}\rangle$$

が成立するから、$b_{r+j}\mid\langle b_{i_1},\cdots,b_{i_m}\rangle$ より、

$b_{r+j}\mid\langle b_{i_1},\cdots,\check{b}_{i_\ell},\cdots,b_{i_m}\rangle$、とくに、$b_{r+j}\mid\langle b_{i_1},\cdots,\check{b}_k,\cdots,b_{i_m}\rangle$

が成立する。O_{B_k} が good abelian であることから、

$b_{r+j}\mid\langle d_1,\cdots,d_q\rangle$ が成立する。とくに、B_k 上の2重点 x_t が特異多重点 $p_{j'}=L_{i'_1}\cap\cdots\cap L_{i'_n}$ に対応するものであれば、

$$b_{r+j'}=d_t\mid\langle b_{i'_1},\cdots,b_{i'_n}\rangle$$

が成立する。L_k は他のすべての直線と交わるので、結局、

$$b_{r+j}\mid\langle\{b_1,\cdots,b_r\}-\{b_{i_1},\cdots,b_{i_m}\}\rangle$$

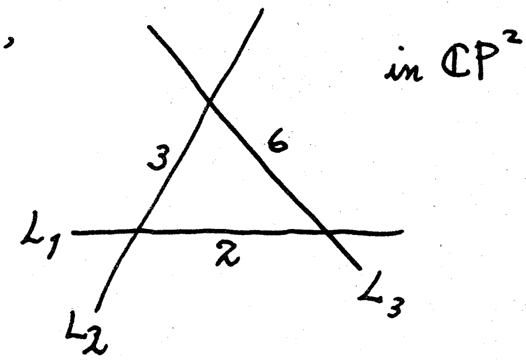
が示された。(証明了)

例. $\mathbb{C}P^2$ 内の一般の位置にある3直線 L_1, L_2, L_3 に対し, $(\mathbb{C}P^2, 2L_1+3L_2+6L_3)$ を考える。

各 O_{L_i} は bad であるから, これは bad abelian である。しかし, μ_1, μ_2, μ_3 は

$$\frac{\mathbb{Z}(\mu_1)+\mathbb{Z}(\mu_2)+\mathbb{Z}(\mu_3)}{\mu_1+\mu_2+\mu_3=2\mu_1=3\mu_2=6\mu_3=0}$$

の中で, order 2, 3, 6 をもっている。



(注). orbifold O_X において, $\pi_1(X-\Sigma X)$ が abelian なら, good ⇔ good abelian である。§2 の反例はこの場合でも Thurston 予想が不成立であることを示している。Theorem の条件は bad abelian topological surface を含まぬという条件でおきかえられる。

References

[Ka1] M. Kato, On uniformization of orbifolds, (to appear).

[Th] W. Thurston, The Geometry and topology of 3-manifolds, preprints (1978, Princeton Univ.).